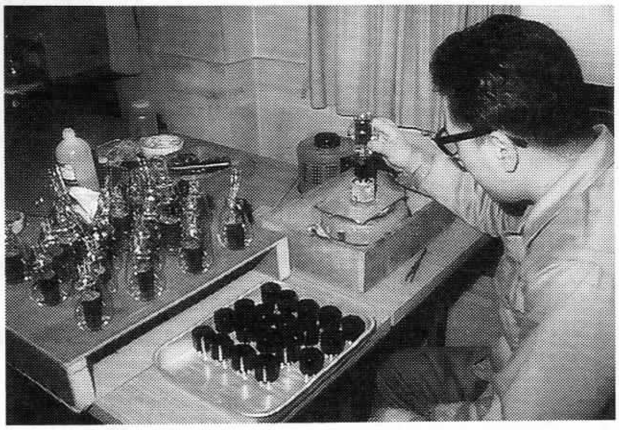
No. 5 真空管の静特性と3定数

真空管製造学入門

小口貴仁 Oguchi Yoshihito



前回は真空管の電気的特性測定のうち，導通，短絡，絶縁，湿度による劣化と対策，打撃による短絡，加熱電圧と電流，加熱時間，陰極温度，放射電流測定，真空度試験，活性度測定の入口までをできるだけわかりやすく述べてみました．今回は真空管アンプの設計に大切な真空管の特性である静特性，動特性についてと，使用中の真空管からいろいろな特性情報を引き出してその劣化程度，寿命予測を知る，活性度について話を進めます．今日私達が入手できる真空管は，相当な年月を経たものを貴重品扱いしている状況下です．経時変化による特性の変化も気になるところですので，特性測定の基本となる静特性曲線の求め方についても，個人で測定できる範囲で述べてみたいと思います．

1. 静特性の測定と試験

静特性の測定は真空管の各電極に電圧を加えたとき，流れる電流の値を測定する試験です．各点を詳細に測定して，特性曲線を描いたものが静特性曲線です．

これらの測定には，電源として以前は鉛2次電池をたくさん直列にしてプレート（陽極）電圧やグリッド（格子）電圧，フィラメント（陰極）電圧を得ていました．電池は開放型の自動車用で，夜間はタンガーバルブ整流真空管で充電し，電解液の比重測定によって管理されていました．後に半導体による定電圧安定電源の普及によってメンテナンスフリーな電源に変わりました．

計測は無誘導型の可変抵抗器やYEW製の大型0.5級精度の電圧，電流計など，MJ 8月号p.115(写真2)のような反転切り換えスイッチとともに配置されていました．

1) 静特性曲線の求め方

a. 2極真空管

2極真空管の静特性は単に陽極電圧と陽極電流の関係を表します．

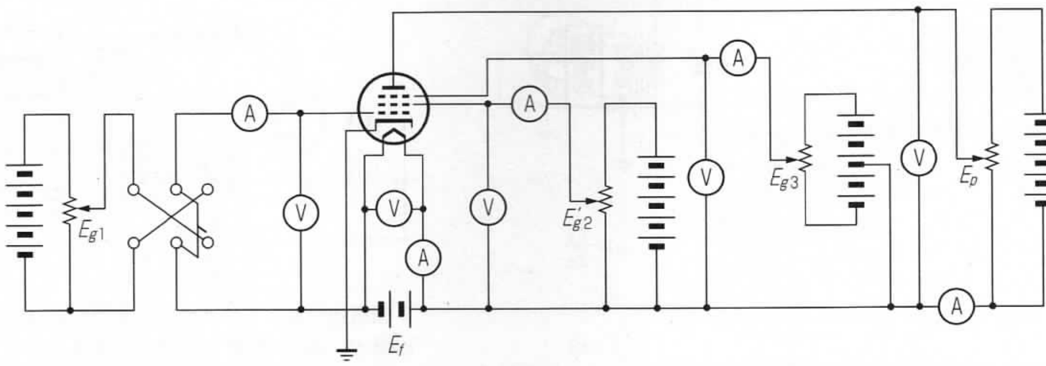
図1のような回路で，ヒーター電圧E_fは正規一定に保ち，E_pをゼロより点連続に測定しながら昇圧し，各種のE_fについてI_pを測定すればE_p-I_p曲線が得られます．

図2(a)は被測定管の動作範囲において得られる曲線です．さらに電圧を印加すると飽和点に到達します（**図2b**）．酸化被膜陰極の真空管では破損することになるので，コンデンサーに充電した電圧を印加するなど瞬間的に測定する方法によらなければなりません．

一方，熱陰極水銀蒸気整流管では高真空熱陰極整流管のように，陰極面積，陰極温度などによる飽和値がないので**図3**のごとく電流が流れます．この特性の下で整流回路のコンデンサーや他の負荷部分で，もし過負荷状態になれば，電源トランスが焼損する恐れがあります．整流管**5Z3**から**HX-83**に変更する場合は回路デバイス，特に電解コンデンサーに注意を払ってください．耐電圧の高いオイルコンが昔から使われていることにも意味があります．

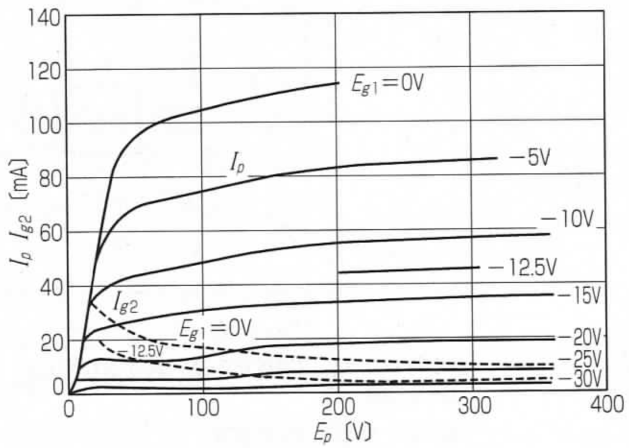
b. 3極および多極真空管の静特性

多極真空管では**図4**のような回路を用いて，ヒーター電圧を正規に保って，制御格子電圧，遮蔽格子電圧などをパラメーターとしま

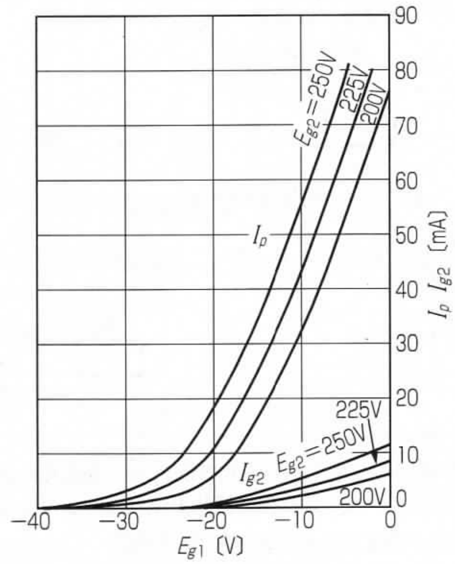


多極管の場合は発振に注意する

［図４］ ３極および多極真空管の特性測定回路



［図５］ 6V6GT E_p-I_p, I_{g2} 特性曲線
(E_f=6.3V, E_{g2}=250V, g_m=4100μS)



［図６］ 6V6GT E_{g1}-I_p, I_{g2} 特性曲線
(E_f=6.3V, E_p=250V)

2）静特性試験

製品試験では一般に，１個１個について静特性曲線を測定することを省略して，あらかじめ定められたポイント数点について測定を行って，規格の範囲内に入っていれば合格としています．

試験の規格の定め方は，陽極電圧，遮蔽格子電圧，抑制格子電圧を一定に保ち，規定の制御格子電圧１点または数点で陽極電流，遮蔽格子電流を測定して規格の範囲に入っているか否かを調べる制御格子電圧ベースの方法があります．また陽極電圧，遮蔽格子電圧，抑制格子電圧を一定に保ちながら，陽極電流を１点もしくは数点規定し，その電流にするための制御格子電圧と遮蔽格子電流を測り，それらが規格範囲に入っているかどうかを調べる，陽極電流ベースの方法とに大別されます．

制御格子電圧ベースの方法は，主に受信用真空管に多く使われ，陽極電流ベースの方法は送信管で多く使われてきました．手許の真空管はどの方法で測定すれば良いのか，判断の参考にしていただきたいと思います．

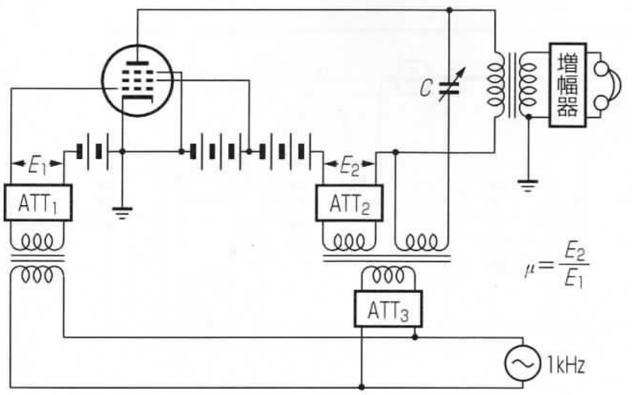
なお静特性試験は無理すると真空管を劣化に導く恐れがあります．素速く測定するようにします．

3）３定数の測定

真空管の特性を表す３定数は，増幅率 μ，相互コンダクタンス g_m，および内部抵抗 r_p で，測定には静特性から計算する方法と，ブリッジによる方法があります．静特性から計算する方法は主に送信管に用いられ，受信管はブリッジにより測定されました．

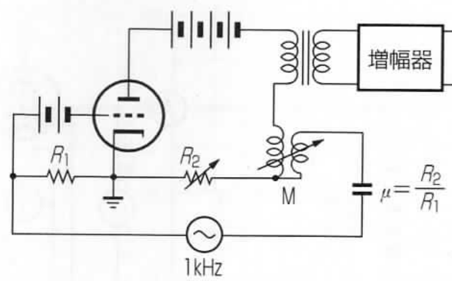
a．増幅率

増幅率とは，真空管の制御格子電圧の変化が陽極電流を一定に保つために，陽極電圧の変化に及ぼす度合をいいます．増幅率 μ は，E_p-I_p 曲線から $\mu=\frac{\Delta E_p}{\Delta E_q}$ で算出する方法と，測定器で測定する方法



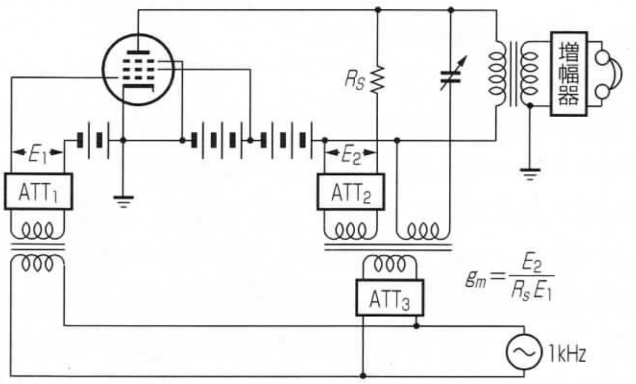
ATT₁，ATT₂はあらく選んで，ATT₃で微調節し，Cで残留音を消すようにする

［図7］ 増幅率 μ の測定



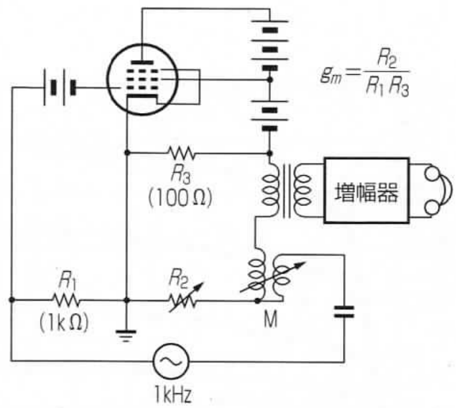
3極真空管のように μ の小さな場合に適した測定回路で，R_2 を加減して音が小さくなるよう平衡を取る

［図8］ 増幅率 μ の測定



普通一般の g_m 計に用いられる回路で，各電極の直流値は正しく保たれていなければ測定値は意味のないものになってしまう

［図9］ 相互コンダクタンス g_m の測定



多極管のように内部抵抗の高い真空管に用いられる回路

［図10］ 多極管 g_m の測定

とがあります．

b. 相互コンダクタンス

相互コンダクタンスとは，真空管の制御格子電圧の変化が一定陽極電圧において陽極電流に及ぼす変化の度合をいいます．相互コンダクタンス g_m は E_g-I_p 曲線から $g_m=\frac{\Delta I_p}{\Delta E_g}$ で算出する方法と，測定器で測定する方法とがあります．

c. 内部抵抗

内部抵抗とは真空管の格子電圧が一定の場合において，陽極電圧の変化に対する陽極電流の変化をいいます．E_p-I_p 曲線から $r_p=\frac{\Delta E_p}{\Delta I_p}$ で算出する方法と，測定器で測定する方法とがあります．

増幅率，相互コンダクタンス，および内部抵抗の間には，

$$\frac{1}{\mu}\cdot g_m\cdot r_p=1,\ \mu=g_m\cdot r_p,\ r_p=\frac{\mu}{g_m}$$

の関係がありますので E_g-I_p 曲線から算出した，μ，r_p，g_m の各値を式に入れ検算することができます．この場合，単位は μ＝無名数，g_m＝micro Siemens（μS，以前は℧；mho を使用，現在はSになりました）で表しますが 10^{-6} を掛けてSで扱い，r_p＝ohm(Ω)に直し代入します．

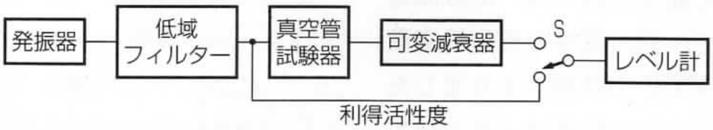
4）測定回路と測定

a. 増幅率 μ の測定

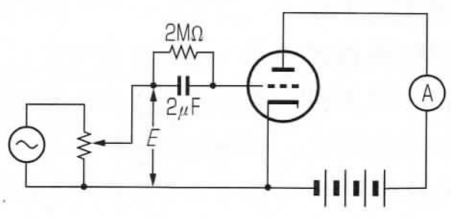
交流ブリッジで μ を測定する方法として**図7**，**8**があります．4極真空管や5極真空管のように増幅率の高い真空管を測定する場合は**図7**がよいし，3極真空管のように増幅率の小さい場合の測定は**図8**でできます．**図7**は増幅率の高い真空管に限らず増幅率の小さな真空管も測定できる万能型です．

図7では発振器からの信号の一方をアッテネーターを通じて制御グリッドに加え，他方はアッテネーターで適当に減衰し，陽極側に逆位相に加えます．それぞれのアッテネーターを調節して，増幅器出力の受話音を最小にすれば，増幅率 μ は $\mu=\frac{E_2}{E_1}$ から求めることができます．アッテネーターを適当に選ぶと，μ を直続することができます．C は残留ノイズを中和するものです．

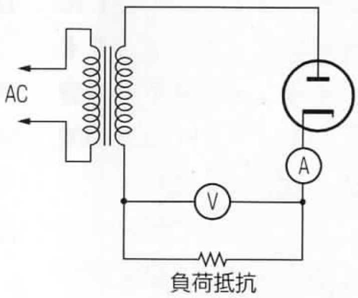
図8では R_2 を加減して受話音



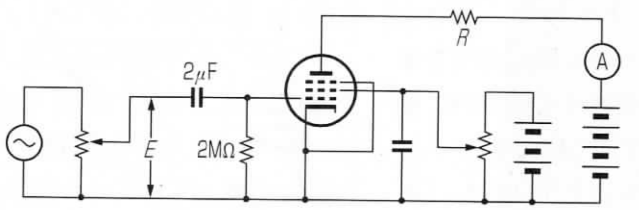
陰極が加熱電力を減圧したときの特性の変化を調べて劣化を予知する
(a) 増幅真空管などの利得試験と同じ．



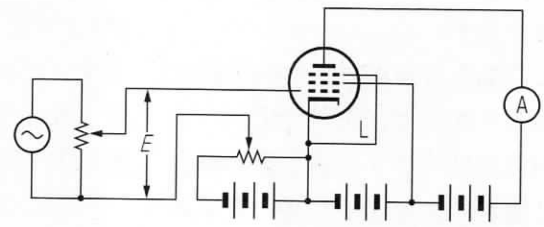
(c) グリッド検波の検波感度を調べる



(b) 増幅真空管，出力管，整流管などに用いる



(d) グリッド検波の検波感度を調べる



(e) プレート検波の検波感度を調べる

[図17] 活性度の測定

その点を充分考慮し定常状態になってから測定を行うようにします．

2) 陽極電流活性度

増幅試験の状態での陽極電流を正規陰極加熱電流と，加熱電流を10%減らした状態で測定し，その低下の割合を求める試験です．この試験では動作中の真空管を取り外すことなく，そのままできるようにあらかじめ回路を工夫しておけば保守試験が楽に行えます．

3) 出力活性度

増幅出力，発振出力，整流管の陰極加熱電力による変化を測定する方式で，**図17**(b)～(e)の回路が用いられます．(b)は整流管，で整流特性の変化を見ますが，負荷抵抗は長い時間通電しますと温度上昇によって抵抗値が変化し，電流変化として測定されますので充分大きなものにし，短時間で測定します．(c)(d)はグリッド検波管の検波感度を，(e)はプレート検波の場合の検波感度試験回路です．どちらの場合でも，商用周波数で規定電圧 $E=0.2V$ を加えて陽極電流の変化値を求めます．陰極加熱電圧または電流を正規のときと，10%低下させた状態の変化の割合を求めます．一般的な規格値として品種によっても異なりますが，80～90%のものが多いようです．

4) 相互コンダクタンス活性度

相互コンダクタンスの陰極加熱電力による変化を測定する方式で，電圧増幅管など，ほとんど大部分の受信管に適用されているものです．測定回路は前述，3定数測定の交流ブリッジによる g_m の測定回路と同じものを使います．

陰極加熱電圧または電流が正規の値のときの相互コンダクタンス g_m と，10%減らしたときの g_m' とを測定して，g_m'/g_m を求め製品試験での規格値を品種によって規定しています．80～90%の規格値が多いようです．使用されている機器の重要部分程度によって合理的な規定を定めて保守されています．

以上が陰極加熱電力減圧による真空管の寿命予知と保守の係わりでした．次回は電極間容量，ノイズ，寿命などの予定です．

【協力】 岡谷電機産業(株)

【参考文献】

1) 上野辰一：真空管の特性及び試験法，修教社書院，昭和17年．
2) 西尾秀彦：電子管測定，コロナ社，昭和30年．
3) 浜田成徳：真空管工学，コロナ社，昭和22年．